

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.




**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

METHOD FOR THE DECENTRALIZED CONTROL OF A MOTOR DRIVE

Patent number: DE19600882
Publication date: 1997-09-04
Inventor: HEESEMANN JUERGEN DIPL ING (DE)
Applicant: HEESEMANN JUERGEN (DE)
Classification:
- **International:** G05B19/02; H02P8/00; G05D3/12
- **European:** G05B19/416; G05B19/42B1
Application number: DE19961000882 19960112
Priority number(s): DE19961000882 19960112

Also published as:

 WO972566
 EP0873545
 EP0873545

Abstract not available for DE19600882

Abstract of correspondent: **WO9725661**

The invention concerns the decentralized control of a motor drive (1) to which a central control unit (7) gives motion commands in the form of path and time data on reference points (P1, P2, P3, P4) located at a certain distance apart. The motor drive has its own intelligent decentralized control unit (5) which controls the drive in such a way that the motion commands are executed. The invention ensures that the required path is followed by virtue of the fact that at least one algorithm for the calculation of a path/time function is defined for the decentralized control unit (5) and that, in addition to the path and time data (s1, s2, s3, s4; t1, t2, t3, t4), at least one item of information is transmitted by the central control unit (7) for calculation of the path/time function in accordance with the logarithm between the reference points (P1 to P4).

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift
⑩ DE 196 00 882 C 1

⑤1 Int. Cl.⁸:
G 05 B 19/02
H 02 P 8/00
G 05 D 3/12

②1 Aktenzeichen: 196 00 882.4-32
②2 Anmeldetag: 12. 1. 96
④1 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 4. 9. 97

DE 196 00 882 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Heesemann, Jürgen, Dipl.-Ing., 32547 Bad
Oeynhausen, DE

⑦4 Vertreter:

GRAMM, LINS & PARTNER, 38122 Braunschweig

⑦2 Erfinder:

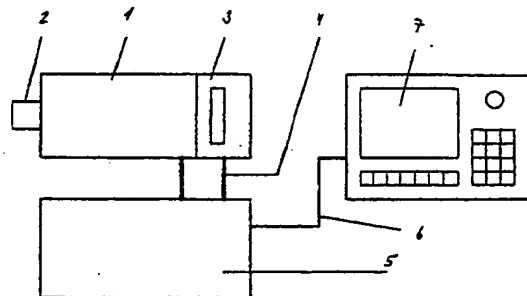
gleich Patentinhaber

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 41 08 074 C2
DE 39 28 451 A1
DE 34 04 206 A1

⑤4 Verfahren zur dezentralen Steuerung eines Motorantriebs

⑤7 Bei einer dezentralen Steuerung eines Motorantriebs (1), dem von einer zentralen Steuerung (7) Bewegungsaufgaben in Form von Weg- und Zeitdaten für voneinander beabstandete Stützpunkte (P1, P2, P3, P4) vorgegeben werden und dem eine eigene intelligente dezentrale Steuerung (5) zugeordnet ist, die den Motorantrieb (1) so steuert, daß die vorgegebenen Bewegungsaufgaben eingehalten werden, läßt sich eine bahngenaue Steuerung bzw. Regelung dadurch erreichen, daß für die dezentrale Steuerung (5) wenigstens ein Algorithmus zur Bildung einer Weg-Zeit-Funktion vorgegeben wird und daß von der zentralen Steuerung (7) neben den Weg- und Zeitdaten (s1, s2, s3, s4; t1, t2, t3, t4) wenigstens eine Information (ST1, ST2, ST3, ST4; sH, tH) zur Bildung der Weg-Zeit-Funktion nach dem Algorithmus zwischen den Stützpunkten (P1 bis P4) übertragen wird.



DE 196 00 882 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur dezentralen Steuerung eines Motorantriebs, dem von einer zentralen Steuerung Bewegungsaufgaben in Form von Weg- und Zeitdaten für voneinander beabstandete Stützpunkte vorgegeben werden und dem eine intelligente dezentrale Steuerung zugeordnet ist, die den Motorantrieb so steuert, daß die vorgegebenen Bewegungsaufgaben eingehalten werden.

Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise durch DE 41 08 074 C2 bekannt. Dabei ist einem Motorantrieb eine eigene lokale intelligente Steuerung zugeordnet, die in diesem Fall unmittelbar am Gehäuse des Motorantriebs angesetzt ist.

Die Übertragung der Bewegungsaufgaben erfolgt so, daß in sehr kurzen Zeitabständen Daten für Stützpunkte übertragen werden, die von dem Motorantrieb durchlaufen werden. Unter der Bedingung eines stetigen Anschlusses der jeweiligen Kurvenstücke zwischen den Stützpunkten führt die dezentrale Steuerung die entsprechende Steuerung des Motorantriebs durch. In diesem Konzept sind die zwischen den Stützpunkten ausgeführten Bahnkurven weitgehend beliebig, so daß für eine möglichst genaue Steuerung Stützpunkte in sehr kurzen Zeitabständen übertragen werden müssen, insbesondere wenn mehrere Motorantriebe eine gemeinsame Antriebsfunktion ausüben, beispielsweise eine zwei- oder dreidimensionale vorgegebene Bewegung ausführen sollen. Erforderlich ist daher die Übertragbarkeit einer hohen Datenmenge über den Datenbus zwischen der zentralen Steuerung und der intelligenten dezentralen Steuerungen der einzelnen Motorantriebe, um die notwendigerweise erforderlichen Ungenauigkeiten zwischen den Stützpunkten möglichst gering zu halten.

Ein derartiges System ist auch aus DE 39 28 451 A1 bekannt. Ein externer Steuerrechner übergibt in einem geeigneten Datenprotokoll nur die Sollvorgaben für die Antriebsaufgabe (z. B. Gleichlauf sämtlicher Armaturen auch bei unterschiedlicher Belastung) für die einzelnen Antriebskomponenten, die mit einer eigenen Steuer- und Regelungseinrichtung versehen sind. Das System arbeitet solange autonom, bis entweder eine Störmeldung an den Kontrollrechner gegeben wird oder der Kontrollrechner eine Änderung der Parametrierung bewirkt. In welcher Weise die Sollvorgaben übergeben werden und die Einhaltung der Antriebsaufgabe sichergestellt wird, ist in dieser Schrift nicht beschrieben.

Durch DE 34 04 206 A1 ist ein Verfahren zur Einstellung von Steuercharakteristika einer Steuereinrichtung für ein Digitalventil bekannt, das durch einen Impulsmotor gesteuert wird. Dabei wird die Anzahl der Impulse für den Impulsmotor einerseits und des Intervalls zwischen den Impulsmotortreiberimpulsen andererseits als Tabelleninformation gespeichert und übermittelt. Dies entspricht der Übermittlung von Weg- und Zeitdaten für voneinander beabstandete Stützpunkte für den Weg des Motorantriebs. Eine möglichst genaue Steuerung des Motorantriebs setzt daher eine hohe Zahl von Weg- und Zeitdaten in der übertragenen Tabelle voraus.

Der Erfindung liegt daher die Problemstellung zugrunde, ein Verfahren zur dezentralen Steuerung so auszubilden, daß eine hohe Steuerungsgenauigkeit auch mit einer geringeren von der zentralen Steuerung zu der dezentralen Steuerung übermittelten Datenmenge erreichbar ist.

Ausgehend von dieser Problemstellung ist ein Verfah-

ren der eingangs erwähnten Art erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß für die dezentrale Steuerung wenigstens ein Algorithmus zur Bildung einer Weg-Zeit-Funktion vorgegeben wird und daß von der zentralen Steuerung neben den Weg- und Zeitdaten wenigstens eine Information zur Bildung der Weg-Zeit-Funktion nach dem Algorithmus zwischen den Stützpunkten übertragen wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht darauf, daß durch die dezentrale Steuerung eine Bahnkurve zwischen den Stützpunkten realisiert wird, die durch die zentrale Steuerung eindeutig vorgegeben ist. Dies bedeutet, daß die von der Motorsteuerung bewirkte Bahnkurve prinzipiell auf allen Punkten auch zwischen den Stützpunkten definiert ist und beliebig genau eingehalten werden kann, ohne daß hierfür riesige Datenmengen von der zentralen Steuerung zur dezentralen Steuerung übertragen werden müßten. Das erfindungsgemäße Konzept bietet den Vorteil, daß Stützpunkte regelmäßig nur in größeren zeitlichen Abständen, die sich bis in den Zehntelsekundenbereich hin erstrecken können, übertragen werden müssen, so daß der Abstand zwischen den übertragenen Stützpunkten um Größenordnungen größer ist als der bisherige zeitliche Abstand von übertragenen Stützpunkten für eine halbwegs genaue Steuerung.

Da es erfindungsgemäß möglich ist, prinzipiell jede beliebige Genauigkeit für die von einem Motorantrieb bewirkte Bahnkurve zu realisieren, läßt sich die Erfindung insbesondere mit Vorteil bei dem Zusammenspiel mehrerer Motorantriebe zum Hantieren oder Bearbeiten von Werkstücken verwenden. Die hierfür erforderliche Synchronisation der Motorantriebe kann über ein extern vorgegebenes Taktsignal, über den Datenbus zwischen zentraler Steuerung und dezentralen Steuerungen oder über eine Funkuhr erfolgen. Die Zeit zwischen den Synchronisationssignalen kann dabei von einer zwischen den Synchronisationssignalen genau laufenden internen Uhr mit feinen Takten überbrückt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden als zusätzliche Information Daten über die Steigungen der Weg-Zeit-Funktion in den Stützpunkten übertragen. Dies kann dadurch erfolgen, daß neben den Daten der Stützpunkte die Steigung in den Stützpunkten als Zusatzinformation übertragen wird.

Die zusätzliche Information über den Kurvenverlauf kann auch durch die Lage wenigstens eines nicht auf der Bahnkurve liegenden Höchstpunktes zwischen den Stützpunkten erfolgen. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn als Algorithmus für die Weg-Zeit-Funktion Bezier-Kurven verwendet werden, was wegen des damit verbundenen vergleichsweise geringen Rechenaufwands bevorzugt ist. Eine weitere Möglichkeit für die Verwendung von Hilfspunkten ergibt sich bei der Anwendung einer Spline-B-Kurve.

Für die Verwendung von Bezier-Kurven ergibt sich ein minimaler Rechenaufwand, wenn als zusätzliche Information die Lage des Schnittpunktes der Tangenten an den Stützpunkten übertragen wird. Hierdurch wird die Steigung der Weg-Zeit-Funktion in den Stützpunkten charakterisiert, jedoch nur die Information über einen einzigen Hilfspunkt übermittelt. In der numerischen Berechnung der Bezier-Kurve nach Casteljau ergibt sich hierfür die Berechnung in einer einzigen Rechenschleife, so daß ein sehr geringer Rechenaufwand erforderlich ist, der in kürzester Rechenzeit erledigt werden kann.

Die Einhaltung der vorberechneten Bahnkurve durch den Motorantrieb kann mit der dezentralen Steuerung durch Regelung des Motorantriebs erfolgen, wobei der Ist-Zustand durch Wegsensoren des Motorantriebs und/oder des angetriebenen Werkzeugs ermittelt wird. Selbstverständlich kann dabei auch ein im Motor selbst integrierter Motorgeber für die Ermittlung des Ist-Zustandes verwendet werden.

Der Regelalgorithmus kann dabei so eingestellt werden, daß der Strom des Motorantriebs so gesteuert wird, daß der vorberechnete Weg genauestmöglich eingehalten wird. Im Unterschied hierzu war der Regelalgorithmus in früherer Technik auf die optimale Geschwindigkeit zwischen zwei nebeneinanderliegenden Stützpunkten abgestellt.

Die Regelung kann mit bekannten Regelalgorithmen, aber auch mit Fuzzyreglern bzw. deren Rechenregeln durchgeführt werden. Durch die alleinige Konzentration des Reglers auf das genaue Fahren auf der Weg-Zeit-Funktion mit einfachen Regelalgorithmen (z. B. P-, PI-Regler usw.) kann die Abtastrate bei gleicher Rechenleistung der verwendeten Hardware gegenüber konventionellen Systemen erhöht werden.

Durch die möglichen geringen Wegeabweichungen durch die genaue Wegdefinition zwischen den Stützpunkten, die genaue Regelung auf die Position zum jeweiligen Zeitpunkt hin und die starre zeitliche Synchronisation können mit einem derart gesteuerten dezentralen Servoantrieb äußerst hohe Bahngeschwindigkeiten bei geringem apparativen Aufwand auch mit vergleichsweise einfachen und langsamen Bussystemen erzielt werden. Weiterhin ist es möglich, eine nahezu beliebige Anzahl von zueinander synchronisierten Achsen bahngeregelt laufen zu lassen.

Durch die dezentrale Struktur lassen sich die Antriebe auch für bahngesteuerte Servoachsen in unmittelbarer Nähe der Servomotoren und ihrer Wegmeßsysteme oder sogar mechanisch mit diesen verbunden einsetzen. Bei entsprechendem konstruktiven Aufbau lassen sich hierdurch die sonst von langen Motorzuleitungskabeln, die mit pulsweitenmodulierten Signalen beaufschlagt werden, ausgehenden Störungssignale in die Umgebung vermeiden.

Das erfindungsgemäße Arbeitsprinzip läßt sich auch für geregelte und ungeregelte Schrittmotoren einsetzen, indem der Schrittmotorantrieb mit einer Vielzahl von Steuerungsschritten zwischen den Stützpunkten entsprechend der ermittelten Weg-Zeit-Funktion gesteuert wird. Ein Prozessor der dezentralen Steuerung ermittelt entsprechend der Weg-Zeit-Funktion den passenden Zeitpunkt für den nächsten Schritt des Schrittmotors in Form eines Steuerimpulses, so daß der Schrittmotor genau an der berechneten Bahnkurve entlangfährt. Bei geregelten Systemen kann der sich einstellende Lastwinkel entsprechend korrigiert werden.

Selbstverständlich lassen sich mit der vorliegenden Erfindung auch Linearmotoren steuern bzw. regeln.

Durch die optimale Einstellung des Stromes für eine genaue Fahrt an der Weg-Zeit-Funktion entlang können nun auch Motoren mit einer ungleichmäßigen Momentenentwicklung, z. B. Reluktanzmotoren, optimal geregelt werden, ohne daß eine aufwendige mathematische Korrektur in der Regelung erforderlich wird, da die hohe Abtastrate eine schnelle Korrektur der real notwendigen und an jedem neuen Ort feststellbaren Strom-einstellung ermöglicht.

Wenn mehrere an mindestens einer Vorschubvorrichtung hintereinander angeordnete Achsen, wie dies z. B.

bei Holzbearbeitungsmaschinen üblich ist, zeitlich synchronisiert zur Vorschubachse als Führungsschse gesteuert werden müssen, lassen sich mit einem beschriebenen Antrieb diese Systeme sehr einfach aufbauen. Ein besonderer Vorteil entsteht hierbei, wenn die zu verfahrenen Wege durch Abtastung eines durchlaufenden Werkstücks am Einlauf der Maschine generiert werden und bereits als Weg-Zeit-Profil vorliegen. Dieses muß dann lediglich hinsichtlich der optimalen Lage der Stützpunkte untersucht und an die dezentralen Antriebe weitergegeben werden.

Auch die Generierung von Bahnkurven für die Bearbeitung oder die Behandlung von z. B. durch Bildverarbeitungsgeräte oder Taster abgetastete Werkstücke wird durch die direkte Wandlung in Weg-Zeit-Funktionen für die jeweiligen dezentralen Steuerungen erleichtert und beschleunigt. Dies gilt für ein-, zwei- und dreidimensionale Werkstückerkfassungen. Bei der direkten Werkstückabtastung mit mechanischen oder optischen oder ähnlich wirkenden Tastern kann es genügen, die bei der Abtastung aufgenommene Weg-Zeit-Funktion nur noch auf die optimale Bearbeitungsgeschwindigkeit und die notwendigen Werkzeugkorrekturen anzupassen und ohne aufwendige weitere Rechenarbeit auf die dezentralen Antriebe zu übertragen.

In Spezialfällen kann es vorteilhaft sein, die dezentralen Antriebe so auszurüsten, daß sie in Abhängigkeit von z. B. geschwindigkeitsabhängigen Signalen einer Führungsschse, z. B. einer Vorschubeinrichtung, selbsttätig die vorgegebenen Weg-Zeit-Funktionen an die aktuellen Werte anpassen. Dies bedeutet eine parameterabhängige Modifikation der von der zentralen Steuerung übermittelten Daten für die Stützpunkte und den Kurvenverlauf zwischen den Stützpunkten.

Die Erfindung soll im folgenden anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild für einen dezentralen Antrieb,

Fig. 2 eine schematische Darstellung für die Ermittlung einer Weg-Zeit-Funktion aufgrund von für Stützpunkte übermittelten Daten,

Fig. 3 eine schematische Darstellung der Ermittlung der Bahnkurve unter Verwendung eines Hilfspunktes.

Fig. 1 zeigt einen Motorantrieb 1 mit einer Antriebswelle 2 und einem in den Motorantrieb 1 integrierten Wegsensor 3, der als Positionsgeber oder komplettes Wegmeßsystem ausgebildet sein kann.

Der Motorantrieb 1 ist über ein Verbindungskabel 4 mit einer dezentralen intelligenten Steuerung 5 verbunden. Diese wiederum ist über einen Datenbus 6 mit einer als Computerterminal dargestellten zentralen Steuerung 7 verbunden.

Fig. 2 zeigt ein Weg-Zeit-Diagramm mit vier Stützpunkten P1, P2, P3, P4, deren zugehörige Koordinaten $s_1, t_1; s_2, t_2; s_3, t_3; s_4, t_4$ von der zentralen Steuerung 7 auf die dezentrale Steuerung 5 über den Datenbus 6 übertragen werden. Erfindungsgemäß wird zusätzlich eine Information, z. B. über die Steigung ST1, ST2, ST3, ST4 in den zugehörigen Stützpunkten P1, ... P4 übermittelt. Die Steigungswerte sind in Fig. 2 durch Tangenten in den Stützpunkten P1, ... P4 dargestellt.

Aus den Stützpunktdaten $s_1, t_1, ST1, \dots$ läßt sich unter Vergabe eines Polynoms als Algorithmus die Bahnkurve B für praktische Zwecke eindeutig ermitteln. Für das Intervall $t_2 - t_3$ ist dargestellt, daß die Steuerung bzw. Regelung durch die dezentrale Steuerung 5 in gegenüber dem Zeitintervall $t_2 - t_3$ sehr kleinen Zeitabständen

Z erfolgen kann, so daß eine beliebige Genauigkeit für die Ausführung der Bahnkurve B durch den Motorantrieb 1 erreichbar ist.

Fig. 3 verdeutlicht als Beispiel die Ermittlung der Bahnkurve B zwischen zwei Stützpunkten P1 und P2 unter Verwendung der Koordinaten s_H , t_H eines Hilfspunktes PH, der als Schnittpunkt der Tangenten der Weg-Zeit-Funktion an den Stützpunkten P1 und P2 entstanden ist. Unter Anwendung einer iterativen Bezier-Berechnung wird die Bahnkurve B aus diesen Werten für praktische Zwecke eindeutig ermittelt, wobei deutlich wird, daß die Bahnkurve durch die Stützpunkte P1 und P2, nicht jedoch durch den Hilfspunkt PH läuft. Die Verwendung eines einzigen Hilfspunktes PH zur Ermittlung der Bahnkurve B führt zu einer sehr einfachen Berechnung mit kurzer Rechenzeit.

nächsten Schritt des Schrittmotors gesteuert wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Steuerung des Motorantriebs (1) mit der Weg-Zeit-Funktion eine Prüfung daraufhin vorgenommen wird, ob die Bewegungsaufgabe innerhalb der Leistungsfähigkeit des Motorantriebs (1) liegt und daß eine neue Berechnung der Bewegungsaufgabe durch die zentrale Steuerung (7) veranlaßt wird, wenn die Leistungsfähigkeit des Motorantriebs (1) überschritten werden würde.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Patentansprüche

1. Verfahren zur dezentralen Steuerung eines Motorantriebs (1), dem von einer zentralen Steuerung (7) Bewegungsaufgaben in Form von Weg- und Zeitdaten für voneinander beabstandete Stützpunkte (P1, P2, P3, P4) vorgegeben werden und dem eine eigene intelligente dezentrale Steuerung (5) zugeordnet ist, die den Motorantrieb (1) so steuert, daß die vorgegebenen Bewegungsaufgaben eingehalten werden, dadurch gekennzeichnet, daß für die dezentrale Steuerung (5) wenigstens ein Algorithmus zur Bildung einer Weg-Zeit-Funktion vorgegeben wird und daß von der zentralen Steuerung (7) neben den Weg- und Zeitdaten (s_1 , s_2 , s_3 , s_4 ; t_1 , t_2 , t_3 , t_4) wenigstens eine Information (ST1, ST2, ST3, ST4; s_H , t_H) zur Bildung der Weg-Zeit-Funktion nach dem Algorithmus zwischen den Stützpunkten (P1 bis P4) übertragen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als zusätzliche Information Daten über die Steigungen (ST1 bis ST4) der Weg-Zeit-Funktion in den Stützpunkten (P1 bis P4) übertragen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als zusätzliche Information die Lage wenigstens eines nicht auf der Bahnkurve (B) liegenden Hilfspunktes (PH) zwischen den Stützpunkten (P1, P2) übertragen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß als zusätzliche Information die Lage des Schnittpunktes der Tangenten an den Stützpunkten (P1, P2) übertragen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Algorithmus für die Weg-Zeit-Funktion Bezierkurven verwendet werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß mit der dezentralen Steuerung (5) und mit Wegsensoren (3) eine Regelung des Motorantriebs (1) zur Einhaltung der ermittelten Weg-Zeit-Funktion vorgenommen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß mit der dezentralen Steuerung (5) ein Schrittmotorantrieb mit einer Vielzahl von Steuerungsschritten zwischen den Stützpunkten (P1 bis P4) entsprechend der ermittelten Weg-Zeit-Funktion gesteuert wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß entsprechend der ermittelten Weg-Zeit-Funktion der jeweilige Zeitpunkt für den

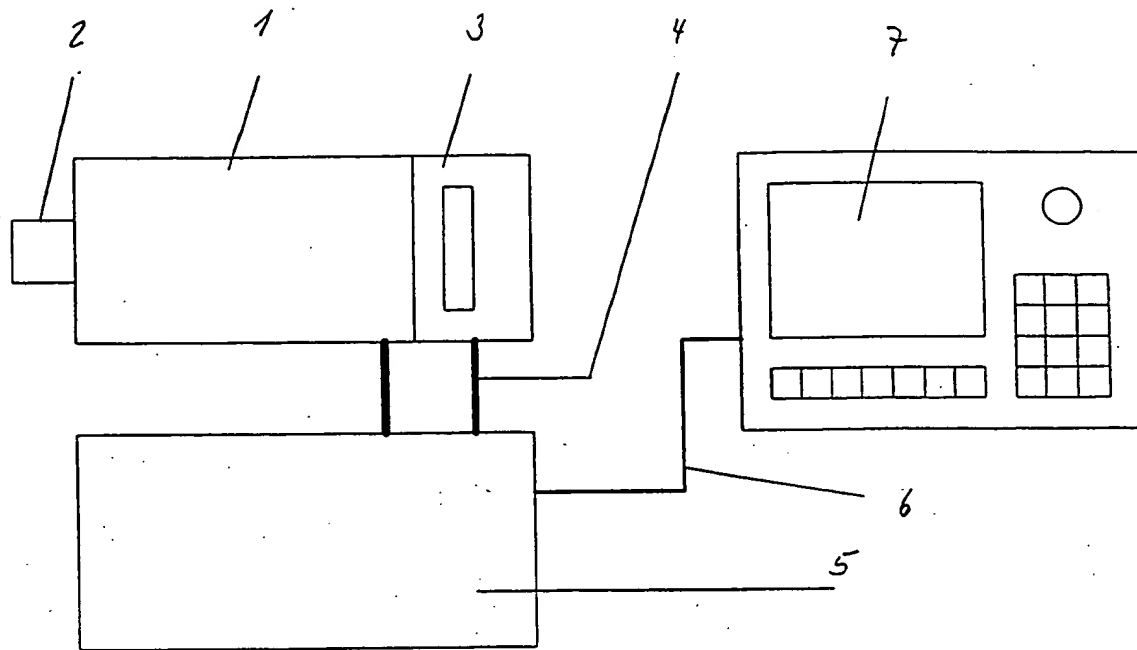


Fig. 1

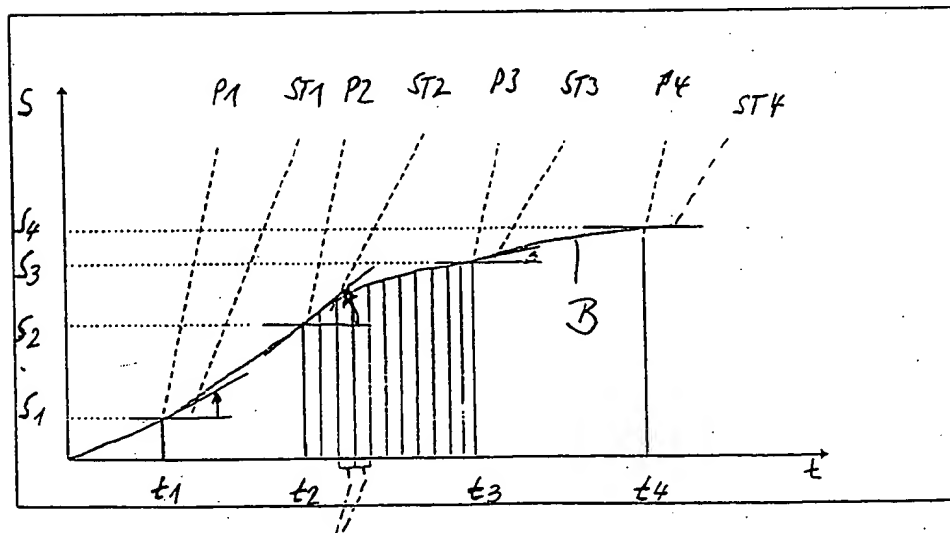


Fig. 2

